

УДК 303.732(075)  
ББК з973-018.3я73  
Ч-497

## **ПОДХОД К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ НА КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ СИТУАЦИИ ДЛЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА<sup>1</sup>**

**Авдеева Э. К.<sup>2</sup>, Коврига С. В.<sup>3</sup>**  
(ФГБУН Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

*Предложены постановки задач управления развитием системы в условиях влияния внешней среды с использованием SWOT-анализа на когнитивной модели ситуации и общая схема их решения. Представлена схема стратегического мониторинга развития системы с включением данных задач. Демонстрируются примеры решения некоторых проблем развития предприятия с экологически опасным производством и социально-экономического развития города.*

Ключевые слова: когнитивная карта, стратегический мониторинг, диагностирование проблем, постановка задач управления.

### **1. Введение**

В цикле поддержки формирования, реализации и коррекции стратегии развития социально-экономической системы (СЭС) одну из ключевых ролей играет стратегический мониторинг, основное назначение которого состоит в отслеживании достижения стратегических целей развития системы в условиях изменяющейся внешней среды.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-07-00821.

<sup>2</sup> Зинаида Константиновна Авдеева, с.н.с. ИПУ РАН, доцент НИУ ВШЭ (avdeeva@ipu.ru).

<sup>3</sup> Светлана Вадимовна Коврига, н.с. (kovriga@ipu.ru).

При этом стратегический мониторинг ориентирован на своевременное выявление (1) благоприятных и негативных изменений среды и (2) изменений свойств самой системы (ее преимуществ и недостатков), которые могут повлиять на реализацию принятой стратегии развития.

Современные ситуации существенно усложнились, они характеризуются быстрой изменчивостью, взаимодействием множества разнородных и междисциплинарных факторов (гео- и внутривнутриполитических, социально-экономических, научно-технических и технологических и др.). Существенная часть таких факторов трудно формализуема, так как их измерение является сложной проблемой, а их взаимодействие в ситуации зачастую носит неочевидный характер (такие ситуации мы относим к слабоструктурированным).

Учитывая сложность, трудную формализуемость современных ситуаций, с одной стороны, специалисты в области стратегического управления отмечают необходимость расширения соответствующего научно-методического обеспечения. С другой стороны, зарекомендовали себя методы анализа и прогнозирования развития систем на основе моделирования ситуаций, представимых в виде когнитивных карт<sup>4</sup> (см. например, обзор методов моделирования и прогнозирования [7, стр.154]). Популярность и спектр приложений когнитивных карт постоянно возрастает [11], в том числе в сфере государственного управления [2,4–6].

На основе анализа прикладных зарубежных и российских публикаций в области стратегического управления, а также опыта авторов по решению практических задач управления СЭС предлагается схема организации стратегического мониторинга слабоструктурированной ситуации с поддержкой отдельных этапов мониторинга подходами и методами на основе когнитивных карт, включая

---

<sup>4</sup> *Когнитивная карта некоторой ситуации – это модель, представляющая знания экспертов о ситуации в виде структуры причинно-следственных влияний.*

– подход к диагностированию проблем развития системы [1], результатом которого является диагностическая карта проблемной ситуации, в которой определены проблемные факторы ситуации и факторы – причины проблем, а также активные субъекты<sup>5</sup>, связанные с проблемной ситуацией (АСС);

– подход к SWOT-анализу на когнитивной модели ситуации [3, 9]. SWOT-анализ стал одним из популярных инструментов ситуационного анализа в стратегическом планировании и управлении развитием СЭС, его разновидности (в плане методической поддержки) расширяются [10].

В рамках данной статьи предложены постановки задач управления развитием СЭО с учетом влияния внешней среды (с включением этих задач в предлагаемую схему стратегического мониторинга), а также общая схема их решения.

Рассмотрена схема стратегического мониторинга и постановки задач управления развитием системы в рамках следующих ограничений:

- тип когнитивной модели ситуации, которая включает карту с весами и функцию динамики факторов ситуации, позволяет описать устойчивые ситуации, т.е. такие, в которых существует установившееся состояние по факторам;
- рассматривается только параметрическое управление ситуацией без изменения структуры карты (весов).

---

<sup>5</sup> *Активный субъект ситуации (stakeholder) – субъект, влияющий на направленность изменения ситуации через реализацию своих интересов и противодействие интересам других субъектов ситуации благодаря имеющимся у него рычагам управления (активное управление ситуацией) либо благодаря использованию возможностей вне поля его активности (пассивное управление ситуацией). Различные точки зрения, убеждения и интересы АСС приводят к разному видению направлений развития системы.*

## 2. Стратегический мониторинг ситуации

Общая схема стратегического мониторинга слабоструктурированной ситуации с поддержкой его отдельных этапов подходами и методами на основе когнитивных карт приведена на рис. 1. В основе предложенной процедуры лежит когнитивная модель ситуации (описание приведено в разделе 3), в которой ситуация представлена в виде структуры причинно-следственных влияний между факторами внутренней среды СЭС  $X^{int}$  (с выделением целевых факторов развития системы и желательным направлением их изменения,  $C = (X^C, R(X^C))$ ) и факторами внешней среды  $X^{ext}$ . Модель строится и корректируется в ходе наблюдения и анализа ситуации с учетом значимых изменений в ней.

Процесс мониторинга ситуации включает следующие этапы.

Этап 1. Идентификация и диагностирование проблемной ситуации на базе предложенного подхода к диагностированию [1], включая следующие шаги.

1. Идентификация проблемной ситуации, которая представляется набором проблемных факторов  $P = \{p_i\}$ ,  $P \subseteq X^C \subset X^{int}$ , по которым наблюдается отклонение от целенаправленного развития, заданного вектором оценок динамики на целевых факторах.

На когнитивной модели ситуации, описывающей причинно-следственные связи между факторами ситуации и функцию динамики факторов, отклонения определяются относительно установившегося состояния из заданного  $X(0)$ . При этом данный подход предполагает использование линейной, асимптотически устойчивой когнитивной модели ситуации.

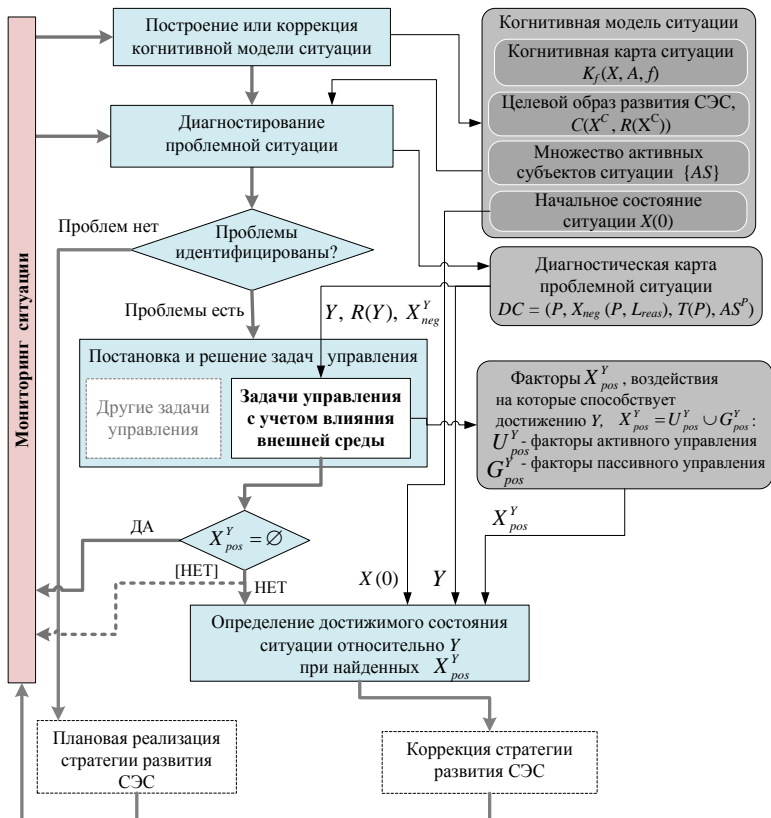


Рис. 1. Общая схема стратегического мониторинга при реализации стратегии развития СЭС

2. Диагностирование факторов – причин проблем  $X_{neg}$  из числа факторов внутренней среды  $X^{int}$  и внешней среды  $X^{ext}$ .

3. Уточнение типа проблем, связанных с взаимодействием АСС, неблагоприятным влиянием внешней среды, негативными свойствами внутренней среды системы; при этом проблемная ситуация является однородной, если обусловлена причинами одного типа, или разнородной – при их сочетании.

4. Определение структуры проблемной ситуации с учетом структуры когнитивной карты ситуации, связывающей прямыми

и опосредованными (косвенными) влияниями проблемные факторы между собой и факторами – причинами проблем.

В результате формируется диагностическая карта проблемной ситуации, в которой сводятся результаты 1–4 этапа идентификации и диагностирования.

При отсутствии проблем проводится плановая реализация стратегии развития СЭС, продолжаются наблюдения и анализ ситуации с целью выявления значимых изменений для последующей коррекции модели ситуации. В рамках данной работы задача стратегического мониторинга сводится к обеспечению отклонений (в требуемых направлениях) установившихся значений проблемных факторов от их значений в начальном состоянии модели. Что допустимо только когда когнитивная модель, построенная по когнитивной карте, является линейной и асимптотически устойчивой.

Этап 2. В зависимости от типа выявленных проблем могут ставиться разные задачи управления.

В данной работе представлены постановки задач управления развитием СЭС при решении проблем, связанных с внешней и внутренней средой системы (раздел 4). (Другие типы постановок задач являются предметом дальнейших исследований.)

Независимо от вида решаемой задачи общая схема постановки состоит в следующем: в зависимости от типа проблемной ситуации найти такие факторы позитивного влияния  $X_{pos}^Y$  на выделенный локальный вектор непротиворечивых целевых факторов  $Y \subseteq P$ , чтобы совокупное влияние  $X_{pos}^Y$  на  $Y$  превышало негативное совокупное влияние  $X_{neg}$  на  $Y$ .

В общем случае допускается, что  $X_{pos}^Y$  может частично способствовать достижению целей ситуации или  $X_{pos}^Y = \emptyset$ , что свидетельствует о невозможности достижения  $Y$  (более подробно рассмотрено в разделе 4.2).

Этап 3, который состоит в определении достижимого состояния ситуации относительно  $Y$  при найденных  $X_{pos}^Y$  (посредством моделирования). Полученные результаты

передаются в блок коррекции стратегии развития СЭО, а также на новый цикл процедуры стратегического мониторинга.

### **3. Когнитивная модель ситуации**

Когнитивная модель ситуации – это когнитивная карта, дополненная начальными условиями и некоторыми другими параметрами.

*Когнитивная карта ситуации.* Для решения практических задач анализа и прогнозирования динамики слабоструктурированных ситуаций, как правило, применяются так называемые формальные когнитивные карты. Эти карты вычислимы и позволяют использовать формальные методы (имитационное моделирование, аналитические методы). Когнитивными они являются потому, что это продукт когнитивных преобразований первичного (внутреннего) представления людей на формальный язык. Значимое представительство среди них образуют функциональные карты [8].

Функциональная когнитивная карта – модель ситуации в виде графа причинно-следственных влияний между факторами ситуации, где все факторы представлены переменными и всем зависимым факторам приписаны функции агрегирования влияний. Вид этой функции различен в разных моделях, но во всех случаях параметрами функции являются веса влияний.

Когнитивная карта может включать входные (условно независимые факторы), динамика которых определяется только внешним воздействием [8], и зависимые факторы. Среди зависимых факторов выделяют (i) пассивные, динамика которых определяется причинно-следственным влиянием факторов-причин, и (ii) смешанные, динамика которых определяется причинно-следственным влиянием факторов-причин и внешним воздействием (например, управлением).

На рис. 2 представлен фрагмент когнитивной карты развития предприятия с экологически опасным производством (ЭОП). Пунктирными стрелками обозначены границы выделенного фрагмента. Входные факторы выделены

прямоугольниками. Факторы с входящими пунктирными стрелками отнесем к смешанным.

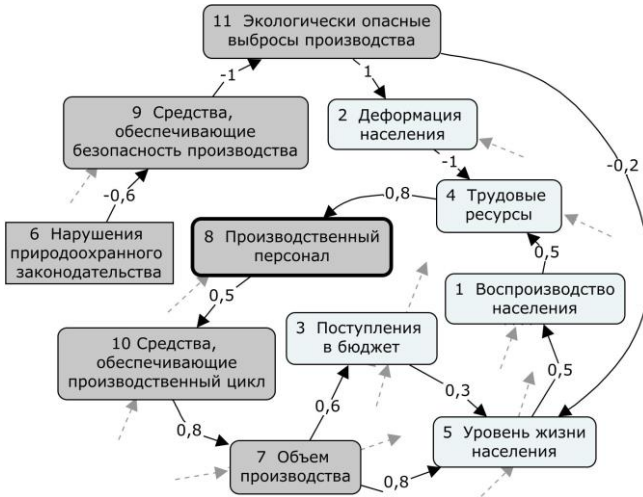


Рис. 2. Фрагмент когнитивной карты развития ЭОП

Когнитивная модель ситуации включает кортеж параметров:

$M_S = \langle K_f(X, A, f); C(X^C, R(X^C)); \{AS^p(H^p_c, H^p_u)\}; X(0); G(0) \rangle$ ,  
 где  $K_f(X, A, f)$  – когнитивная карта ситуации, в которой  $X = (x_1, \dots, x_n) = (X^{int} \cup X^{ext})$  – множество факторов внутренней ( $X^{int}$ ) и внешней среды ( $X^{ext}$ ) системы;  $A = [a_{ij}]$  – матрица  $N \times N$  взаимовлияний факторов, в которой  $a_{ij} \in [-1; 1]$  – вес влияния фактора  $x_i$  на фактор  $x_j$ ;  $f$  – функция, определяющая правило изменения значений факторов.

Необходимо отметить, что принадлежность факторов к внутренней или внешней среде исследуемой ситуации является лишь признаком, по которому они разделяются в когнитивной карте; функция динамики факторов от этого не меняется. Среди факторов внешней среды могут быть также зависимые факторы смешанного типа.



$C = (X^C, R(X^C))$  – целевой образ системы, характеризующий желательные направления изменения системы, где  $X^C$  – подмножество целевых факторов,  $X^C \subseteq X^{int}$ ;  $R(X^C)$  – вектор оценок динамики факторов (ОДФ), определяющих желательные направления изменения целевых факторов с позиции субъекта управления и формально представляется как

$$(1) \quad r_i(x_i^C) = \begin{cases} +1, & \text{если желателен рост значения } x_i^C, \\ -1, & \text{если желательно падение значения } x_i^C. \end{cases}$$

$\{AS_i\}$  – множество активных субъектов, влияющих на ситуацию; каждый  $AS_i$  задан на подмножестве факторов  $X$ , включая факторы  $H_{AS_i}^C$ , характеризующие область его интересов, и факторы  $H_{AS_i}^U$ , которыми он управляет.

$X(0)$  – начальное состояние ситуации, в котором

$$x_i(0) = \begin{cases} \neq 0, & \text{если } x_i \in X', X' \subset X, \\ = 0, & \text{если } x_i \in (X \setminus X'); \end{cases}$$

где  $X'$  – подмножество факторов из числа входных и/или смешанных<sup>6</sup> факторов карты (принадлежащих внутренней и/или внешней среде), в которых в момент времени  $t = 0$  наблюдаются начальные изменения, а остальные факторы  $X \setminus X'$  равны 0. Значение 0 – это условное модельное значение фактора. Содержательно  $X(0)$  характеризует состояние ситуации, в котором в момент времени  $t = 0$  в каждом факторе из  $X'$  наблюдается скачок, отражающий прирост значения фактора. При этом предполагается, что до  $X(0)$  достаточно долгое время значения всех факторов  $X$  не изменяются (или их изменением в грубом приближении можно пренебречь), условно обозначим  $X(-1) = 0$ .

И наконец,  $G(0)$  – вектор дополнительных внешних воздействий (например, управлений), подаваемых на некоторый набор факторов из числа входных или смешанных, в случае

<sup>6</sup> В простейшем случае в карте могут отсутствовать смешанные факторы, тогда для моделирования достаточно определить начальную динамику на входных факторах.

моделирования различных вариантов изменения ситуации в состоянии  $X(0)$ .

В карте  $K_f$  функция  $f$  задает правило изменения произвольного фактора  $x_i$  в любой дискретный момент времени  $t \geq 0$ :

$$(2) \quad f: x_i(t+1) = x_i(t) + \sum_{j \in I_i} a_{ij} (x_j(t) - x_j(t-1)) + g_i(t),$$

где  $g_i(t) = g_i(0)$  при  $t = 0$ , а  $g_i(t) = 0$  при  $t > 0$ ;  $x_j(t) = 0$  при  $t \leq 0$ ;  $x_i(0), g_i(0) \in [-1, 1]$ .

С учетом заданной функции (2) состояние ситуации в любой дискретный момент времени  $t \geq 0$  определяется по формуле

$$X(t+1) = Q(t)X(0) + Q(t)G(0),$$

где  $Q(t) = E_N + A + A^2 + \dots + A^t$ .

Ограничимся рассмотрением таких карт, у которых собственные значения матрицы  $A$  содержатся внутри окружности единичного радиуса на комплексной плоскости, тогда

$$(3) \quad Q = \lim_{t \rightarrow \infty} Q(t) = (E_N - A)^{-1}.$$

Матрицу  $Q$  назовем матрицей интегральных влияний, так как ее элементы характеризуют все прямые и опосредованные влияния, которым подвержен каждый фактор когнитивной карты с функцией вида (2).

В рамках описанной модели задача стратегического мониторинга рассматривается в асимптотической постановке, когда проблемные факторы определяются как отклонения от установившегося состояния ситуации.

#### **4. Постановка задач управления развитием системы на основе SWOT-анализа когнитивной модели ситуации**

##### **4.1. ИСХОДНЫЕ ПОНЯТИЯ SWOT-ПОДХОДА**

В общем виде SWOT-анализ (Strengths – сильные стороны, Weaknesses – слабые стороны, Opportunities – возможности, Threats – угрозы) сводится к экспертному определению сильных

и слабых сторон СЭС, возможностей и угроз (опасностей) внешней среды и формированию матрицы «Окно возможностей». В этой матрице на пересечении строк и столбцов экспертно оценивается значимость каждого сочетания возможностей и сильных сторон, угроз и сильных сторон и т.д. На основании полученных оценок вырабатывается комплекс стратегических мероприятий по развитию СЭС.

SWOT-анализ проводится как на основе неформальных процедур (мозговых штурмов), так и поддерживается формальными методами с привлечением теории экспертного оценивания, теории нечетких множеств и т.д. [10]. При этом практики и исследователи отмечают ряд недостатков этой методологии.

С нашей точки зрения, существенные недостатки SWOT-анализа для целей стратегического планирования и управления состоят в следующем:

- результатом ситуационного анализа являются статические характеристики, когда как для формирования и коррекции стратегии развития объекта в цикле управления важен анализ динамических характеристик ситуации;

- как правило, SWOT-матрица включает множество разнородных факторов, однозначно оценить природу связей между которыми разнопрофильным специалистам, привлекаемым к анализу, затруднительно;

- стандартная процедура SWOT-анализа предполагает, что внешняя среда влияет на объект, но не учитывает а) возможность влияния самого объекта на среду; б) опосредованное влияние объекта самого на себя через внешнюю среду; в) взаимодействие между факторами внешней среды (возможностями и угрозами) в интересах развития объекта.

Для преодоления указанных недостатков мы предлагаем проводить SWOT-анализ на когнитивной модели ситуации, включающей факторы внешней и внутренней среды системы [3, 9]. Данный подход опирается на анализ структурных свойств когнитивной карты ситуации. В основе этого анализа лежит а) определение интегральных (непосредственных и опосредованных) влияний изменения одних факторов на

изменения других факторов в карте (матрица  $Q$  (3)); б) выявление характера (благоприятного или негативного) интегрального влияния текущей динамики факторов (в состоянии  $X(0)$ ) на желательную динамику факторов для выделения факторов, относящихся к сильным и слабым сторонам системы, возможностям и угрозам внешней среды, и весов интегральных влияний факторов из различных групп друг на друга.

В результате возможно формирование разных вариантов достижения желательной динамики по факторам, определяющим цели развития системы, путем сочетания факторов из разных групп (сильные или слабые стороны системы, возможности, угрозы внешней среды) с наибольшим весом интегрального влияния на достижение целей развития.

#### 4.2. ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ

Пусть даны

$Q$  – матрица интегральных влияний факторов когнитивной карты (раздел 3);

$Y$  – вектор целей,  $Y \subseteq P \subseteq X^C \subseteq X^{int}$ ;

$R(Y)$  – вектор ОДФ (раздел 3);

$X_{neg}^Y$  – факторы – причины негативного влияния на  $Y$ ,  $X_{neg}^Y \subset X$ .

*Определение 1.* Фактор  $x_{neg_i} \in X_{neg}^Y$  – это фактор, изменение (рост или снижение) которого в  $X(0)$  приводит к нежелательному изменению хотя бы одного фактора  $y_j$  из  $Y$ , т.е.  $sign(x_{neg_i}(0) \times q_{ij}) \neq r(y_j)$ , где  $r(y_j)$  – оценка динамики фактора  $y_j$ .

При этом фактор  $x_{neg_i}^T$  – угроза внешней среды, если  $x_{neg_i}^T \in X_{neg}^{ext} \subset X_{neg}^Y$ , или фактор  $x_{neg_i}^W$  – слабая сторона системы, если  $x_{neg_i}^W \in X_{neg}^{int} \subset X_{neg}^Y$ .

Требуется найти такие факторы  $X_{pos}^Y \subset X$ , воздействия на которые могут противодействовать нежелательным изменениям факторов-причин  $X_{neg}^Y$  и/или способствовать изменению  $Y$  в желательном направлении (в соответствии с  $R(Y)$ ).

*Определение 2.* Фактор  $x_{pos_i} \in X_{pos}^Y$  – это фактор, воздействие на который в некотором направлении (рост или снижение) приводит к благоприятному изменению хотя бы одного фактора  $y_j$  из  $Y$ , т.е.  $sign(x_{pos_i}(0) \times q_{ij}) = r(y_j)$ , и при этом не наблюдается негативного изменения остальных факторов из  $Y$ <sup>7</sup>.

Фактор  $x_{pos_i}^O$  – возможность внешней среды, если  $x_{pos_i}^O \in X_{pos}^{ext}$ , или  $x_{pos_i}^S$  – сильная сторона системы, если  $x_{pos_i}^S \in X_{pos}^{int}$ .

В зависимости от используемого механизма достижения целей – противодействие и/или компенсация – могут уточняться постановки задач управления развитием системы с учетом выявленных факторов негативного влияния.

При механизме противодействия ищутся такие факторы  $X_{com}^{pos} \subseteq X_{pos}^Y$ , воздействие на которые способствует желательному изменению  $Y$  путем устранения негативного воздействия факторов  $X_{neg}^Y$  на  $Y$ , т.е.  $X_{com}^{pos}$  являются факторами прямого влияния на  $X_{neg}^Y$ .

При механизме компенсации возможно лишь нивелирование действия негативных факторов. В этом случае ведется поиск таких факторов  $X_{com}^{pos} \subseteq X_{pos}^Y$ , воздействие на которые способствует желательному изменению  $Y$  в условиях сохраняющегося негативного изменения факторов-причин  $X_{neg}^Y$ .

Смешанный вариант предполагает сочетание обоих механизмов достижения целей при нахождении  $X_{pos}^Y$ .

Задача считается решенной, если находится такое множество факторов  $X_{pos}^Y$ , воздействия на которые способствует

<sup>7</sup> Вектор целей  $Y$  непротиворечив, если изменение любого целевого фактора из  $Y$  в желательном направлении не приводит к нежелательному изменению остальных целевых факторов в  $Y$ . Формально для любой пары из  $y_i, y_j \in Y$  выполняется  $sign(r(y_i) \times q_{ij}) = r(y_j)$ .

изменению всех  $Y$  в желательном направлении и при этом суммарный вес интегральных влияний  $X^Y_{pos}$  превышает суммарный вес интегральных влияний  $X^Y_{neg}$ .

В общем случае допускается, что  $X^Y_{pos}$  может частично способствовать достижению целей ситуации или  $X^Y_{pos} \neq \emptyset$ , что свидетельствует о невозможности достижения  $Y$ . Это может быть обусловлено как наличием противоречий между целевыми факторами, так и слабым влиянием или отсутствием в когнитивной карте факторов, способных а) противодействовать  $X^Y_{neg}$  или б) компенсировать своим влиянием на  $Y$  негативное влияние  $X^Y_{neg}$ . (Принципиально возможность достижения вектора целей при наличии противоречий допускается под действием механизма компенсации.)

Если возможность достижения целей не найдена ( $X^Y_{pos} = \emptyset$ ), то полученные результаты включаются в диагностическую карту для последующего анализа с целью поиска дополнительных факторов в проблемной ситуации в соответствии с предложенным подходом к диагностированию [1]. При частичном достижении целей либо проводится дополнительное диагностирование проблемной ситуации (как в первом случае), либо могут приниматься компромиссные решения, которые учитывает интересы субъекта управления (ЛПР) системой. Например, в случае ограниченных ресурсов управления можно принять стратегию частичного достижения целей с последующим анализом и диагностированием ситуации уже в новых условиях. Соответствующие выходы из блока решения задач управления приведены на рис. 1, где выход [НЕТ] означает возможный переход, когда  $X^Y_{pos}$  частично способствует достижению  $Y$ .

#### 4.3. ОБЩАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Решение представленных задач опирается на предложенный подход к SWOT-анализу на когнитивной модели ситуации [3, 9]. Основная идея состоит в нахождении  $X^Y_{pos}$  на основе анализа матрицы  $Q$  (разд. 4.1) с учетом введенных определений 1 и 2.

При этом решение задач не сводится к формальной процедуре, так как важная роль отводится субъекту управления (ЛПР), с чьих позиций исследуется ситуация, его

предпочтениям и/или наличию ресурсов воздействия на ситуацию через найденные точки воздействия  $X_{pos}^Y$ .

*Этап 1.* Выявление факторов  $X_{coun}^{pos}$  и/или  $X_{com}^{pos}$ .

В рамках обоих механизмов достижения целей выявление таких факторов проводится из групп позитивного влияния: возможности внешней среды и/или сильные стороны системы, а также при механизме противодействия – из групп негативного влияния: угрозы внешней среды и слабые стороны системы, при выполнении условия 1.

*Условие 1.* Входные и смешанные факторы из числа  $X_{neg}^Y$  включаются в  $X_{coun}^{pos}$ , если изменение нежелательной динамики таких факторов для достижения  $Y$  может быть обеспечено путем изменения направленности внешнего воздействия на эти факторы.

Рассмотрим более подробно возможные сочетания факторов при разных механизмах достижения целей. В соответствии с определениями 1, 2 при механизме противодействия из матрицы  $Q$  может быть выделена подматрица, представленная на рис. 3а, а при механизме компенсации – подматрица на рис. 3б.

На пересечениях каждой строки и столбца указан соответствующий интегральный вес влияния.

В обеих подматрицах в строках перечислены возможности внешней среды  $X_{pos}^O$  и сильные стороны системы  $X_{pos}^S$ , воздействие на которые может а) ликвидировать причины противодействия достижению  $Y$ :  $X_{neg}^T$  – угрозы внешней среды,  $X_{neg}^W$  – слабые стороны системы (рис. 3а), или б) способствовать желательному изменению  $Y$  (рис. 3б) в условиях сохраняющегося негативного изменения  $X_{neg}^Y$ . Обозначения Coun (counteraction) и Com (compensation) указывают на соответствующий механизм: противодействие и компенсация.

На пересечении каждой строки и столбца в подматрицах указывается соответствующий интегральный вес влияния.

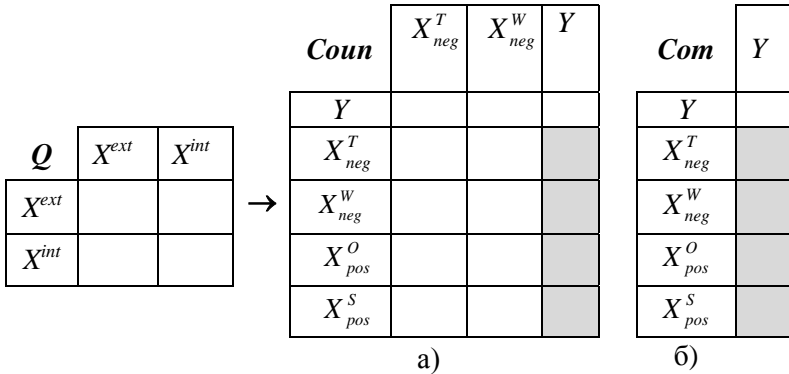


Рис. 3. Возможные варианты формирования  $X_{pos}^Y$  при разных механизмах достижения целей

Этап 2. Ранжирование факторов, относящихся к  $X_{neg}^Y$ ,  $X_{coun}^{pos}$  и  $X_{com}^{pos}$ . Ранжирование факторов проводится 1) для  $X_{neg}^Y$  по суммарному весу противодействия достижению  $Y$ ; 2) для  $X_{coun}^{pos}$  и  $X_{com}^{pos}$  – по суммарному весу содействия достижению  $Y$ .

Суммарный вес некоторого фактора  $x_i$  из  $X_{neg}^Y$ ,  $X_{coun}^{pos}$  или  $X_{com}^{pos}$  рассчитывается как модуль суммы интегральных весов влияний этого фактора на  $Y$  (суммирование по  $i$  строке в соответствующем сегменте подматриц (на рис. 3 сегменты окрашены серым цветом)). Чем больше суммарный вес фактора, тем больше его эффект для достижения либо противодействия достижению  $Y$ .

Вектор целей  $Y$  потенциально достижим, если суммарный вес интегральных влияний  $X_{pos}^Y$  на  $Y$  превышает суммарный вес интегральных влияний  $X_{neg}^Y$  на  $Y$ . Формально

$$\sum |q_{ij}^{pos}| > \sum |q_{ij}^{neg}|.$$

Таким образом,  $X_{pos}^Y$  может включать факторы активного управления  $U_{pos}^Y = X_{pos}^S$  (сильные стороны системы) и факторы пассивного управления  $G_{pos}^Y = X_{pos}^O$  (возможности внешней среды),  $X_{pos}^Y = U_{pos}^Y \cup G_{pos}^Y$ .



Согласно схеме мониторинга, результаты передаются в блок определения достижимого состояния ситуации относительно  $Y$  при найденных  $X_{pos}^Y = U_{pos}^Y \cup G_{pos}^Y$  (см. рис. 1).

При этом допускается, что какие-то факторы внешней среды из  $X_{pos}^O$ ,  $X_{pos}^{AS^Y} \subset X_{pos}^O$ , равно как и из  $X_{neg}^T$  (угрозы внешней среды),  $X_{neg}^{AS^Y} \subset X_{neg}^T$ , могут быть связаны с другими АСС. В этом случае целесообразно уточнить постановки задач управления с учетом взаимодействия с другими активными субъектами ситуации. Такое уточнение является предметом дальнейших исследований.

## **5. Демонстрационные примеры**

В примерах в качестве объектов рассматривается некоторое ЭОП и  $N$ -ский город<sup>8</sup>. ЭОП представляет собой градообразующее предприятие, оказывающее влияние на развитие всего административного образования (города и прилегающих поселений).  $N$ -ский город представляет собой активно развивающийся город одной из стран СНГ. При диагностировании проблем развития ЭОП и  $N$ -ского города был выявлен ряд проблем, некоторые из которых рассмотрены в примерах. При этом для облегчения понимания получаемых результатов решения задач управления в представленной постановке при демонстрации примеров мы ограничиваемся рассмотрением фрагментов когнитивных карт с простой и наглядной структурой влияний в этих фрагментах (рис. 2 и рис. 3).

---

<sup>8</sup> Примеры построены на основе прикладных работ, по условиям которых названия объектов не раскрываются.

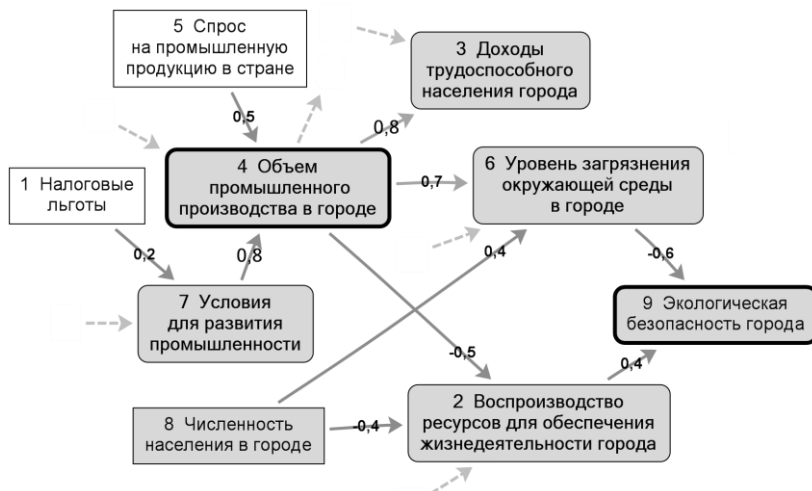


Рис. 3. Фрагмент когнитивной карты социально-экономического развития N-ского города

На рис. 2 и 3 факторы в серых овалах относятся к внутренней среде объекта, остальные – к внешней среде; проблемные факторы (иначе, целевые факторы) выделены в овалах с жирным контуром.

Пример 1. Рассматривается проблема дефицита производственного персонала ЭОП (фрагмент когнитивной карты ситуации на рис. 2).

Пусть даны

1) матрица  $Q$  размерности  $11 \times 11$ , сформированная в соответствии с (3);

2) целевой фактор 8. *Производственный персонал*, по которому наблюдаются отклонение (снижение численности);  $r(8) = 1$  – ОДФ фактора 8 (означает, что желателен рост численности);

3) фактор 6. *Нарушения природоохранного законодательства* – фактор (слабая сторона ЭОП) негативного влияния на целевой фактор 8,  $X_{neg}^Y = X_{neg}^W = \{6\}$ . Фактор 6

характеризует нарушение нормативов допустимого воздействия на окружающую среду.

*Решение задачи.* Вектор целей  $Y = \{8\}$  непротиворечив,  $sign(r(8) \times 0,12) = r(8) = 1$ , где  $0,12$  – интегральное влияние фактора 8 самого на себя.

Результаты двух этапов решения сведены в таблице 1.

Факторы указываются по номерам, индекс «+» означает рост значения фактора, а «-» означает снижение;  $r(6) = -1$  – ОДФ фактора 6 (желательно падение значения фактора). Жирным шрифтом обозначены интегральные влияния между факторами, выделенные из  $Q$  ( $q_{ij} = 0$ , если влияние между факторами в карте отсутствует). При этом  $q_{ij} > 0$  означает, что рост (снижение) фактора  $x_i$  приводит росту (снижению) фактора  $x_j$ ;  $q_{ij} < 0$  – рост (снижение)  $x_i$  приводит снижению (росту)  $x_j$ .

Таблица 1. Результаты решения задачи

Этапы 1,2		$X_{neg}^W = \{6\};$ $r(6) = -1$		$Y = \{8\};$ $r(8) = 1$		$\sum  q_{ij} $ на $Y$	
$x_{neg}^W$ (0)	6 <sup>+</sup>	0		<b>-0,78</b>		<b>1,49 neg</b>	
<b>Coun</b>	$x_{pos}^S$ 6 <sup>-</sup>	0		<b>-0,78</b>		<b>0,78</b>	<b>2,39</b> <b>pos</b>
<b>Com</b>	$x_{pos}^O$ 2 <sup>-</sup>	0		<b>-0,71</b>		<b>1,61</b>	
	$x_{pos}^O$ 4 <sup>+</sup>	0		<b>0,90</b>			

Рост фактора 8 возможен под воздействием следующих факторов:  $X_{pos}^Y = X_{coun}^{pos} \cup X_{com}^{pos}$ , где  $X_{coun}^{pos} = \{6^-\}$ ,  $X_{com}^{pos} = \{2^-, 4^+\}$ .

Суммарный вес позитивного влияния  $X_{pos}^Y$  на  $Y = \{8\}$  превышает суммарный вес негативного влияния  $X_{neg}^Y$ . Механизм противодействия предполагает прямое воздействие на причину проблемы: фактор 6 (слабая сторона ЭОП), – путем смены негативной направленности его изменения, в этом случае фактор внутренней среды 6 рассматриваются как сильная сторона

ЭОП. Механизм компенсации предполагает воздействие на факторы внешней среды 2 и 4 (возможности) для компенсации негативного влияния фактора 6.

*Содержательная интерпретация результатов.* Решение проблемы дефицита производственного персонала связано с обеспечением 1) снижения (в идеале отсутствия) нарушений природоохранного законодательства; 2) снижения деформации населения (качественного изменения состава населения, вызванного экологическими причинами, например, критическая численность людей, страдающих врожденными хроническими заболеваниями); 3) роста трудовых ресурсов административного образования, в котором функционирует ЭОП. Выбор вариантов (или их сочетаний) зависит от готовности и ресурсных возможностей руководства ЭОП провести коррекцию стратегии развития предприятия в части экологической политики, от возможностей взаимодействия с другим активным субъектом ситуации (городской администрацией) по организации въезда специалистов из других регионов и, наконец, от возможности улучшения системы здравоохранения в городе. Очевидно, что механизм компенсации только нивелирует проблему, и в стратегической перспективе следует ожидать усиление негативных тенденции в ситуации.

Пример 2. В данном примере рассматриваются проблема устойчивого развития  $N$ -ского города, связанная с обеспечением экологической безопасности при наращивании промышленного производства и росте численности населения (фрагмент когнитивной карты ситуации на рис. 3).

Пусть даны

1. Матрица  $Q$  размерности  $9 \times 9$ , сформированная в соответствии с (3) (таблица 2, где по строкам и столбцам перечислены номера факторов; нумерованный список факторов приведен после таблицы). Любое значение в  $Q$  – это интегральное влияние фактора в строке на фактор в столбце, например, интегральное влияние фактора 4 на фактор 9 равно  $q_{49} = -0,74$ ; ячейки с 0 – отсутствие влияния.

Таблица 2. Матрица транзитивного замыкания  $Q$

$Q$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0,14	0,12	0	0,11	0,2	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	-0,5	0,8	0	0	0,9	0	0	-0,74
5	0	-0,15	0,24	0,3	0	0,27	0	0	-0,22
6	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,6
7	0	-0,3	0,48	0,6	0	0,54	0	0	-0,44
8	0	-0,5	0	0	0	0,4	0	0	-0,44
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Нумерованный список факторов:

1. Налоговые льготы.
2. Воспроизводство ресурсов для обеспечения жизнедеятельности города.
3. Доходы трудоспособного населения города.
4. Объем промышленного производства в городе.
5. Спрос на промышленную продукцию города в стране.
6. Уровень загрязнения окружающей среды в городе.
7. Условия для развития промышленности города.
8. Численность населения в городе.
9. Экологическая безопасность города.

2. Целевые факторы:  $y_1$  – 4. Объем промышленного производства города и  $y_2$  – 9. Экологическая безопасность города, по которым наблюдаются отклонения (не достигается желательный уровень);  $r(y_1) = 1$  и  $r(y_2) = 1$  – ОДФ факторов  $y_1, y_2$ .

3. Факторы негативного влияния на целевые факторы: снижение налоговых льгот и спроса на промышленную продукцию  $X_{neg}^{y_1} = X_{neg}^T = \{1, 5\}$  (угрозы внешней среды) и рост численности населения города  $X_{neg}^{y_2} = X_{neg}^W = \{8\}$  (с точки зрения обеспечения экологической безопасности проявляется как слабая сторона в развитии города).

*Решение задачи.* Рассматривается более сложный случай решения задачи, когда вектор целей  $Y = \{4, 9\}$  противоречив<sup>9</sup>.

В данном случае желательное изменение фактора 4 ( $y_1$ ) не приводит к желательному изменению фактора 9 ( $y_2$ ), формально  $sign(r(y_1) \times q_{49}) = sign(r(y_1) \times (-0,74)) \neq r(y_2)$ . Действительно, наращивание производства промышленной продукции приводит к росту загрязнения окружающей среды и росту потребления ресурсов для обеспечения жизнедеятельности города, что в итоге приводит к снижению экологической безопасности города. Для повышения экологической безопасности в условиях развития промышленности города требуются соответствующие компенсационные меры.

Результаты решения сведены в таблице 3. Соответствующие интегральные влияния между целевыми факторами, факторами негативного влияния на целевые и факторы позитивного влияния на целевые взяты из матрицы  $Q$  (таблица 2). Обозначения в таблице 3 используются те же, что и в первом примере. Серым цветом выделены области, которые не существенны для анализа вектора целей на противоречивость.

Таблица 3. Результаты решения задачи

	$x_{1neg}^T$	$x_{2neg}^T$	$x_{neg}^W$	$y_1$	$y_2$	$\sum  q_{ij} $ на $Y$	
Этапы 1, 2	$r(1) = 1$	$r(5) = 1$	$r(8) = 0$	$r(4) = 1$	$r(9) = 1$		
$y_1, r(4) = 1$				0	-0,74		
$y_2, r(9) = 1$				0	0		
$x_{1neg}^T(0)$	1-	0	0	0	0,12	0	0,12+0,3
$x_{2neg}^T(0)$	5-	0	0	0	0,3	-0,22	-0,44 -0,22

<sup>9</sup> При постановке задачи управления (разд. 4.2) отмечалось, что в общем случае допускается отсутствие решения или частичное решение. Одной из причин является наличие противоречий в целях.

$x_{neg}^W(0)$		8+	0	0	0	0	-0,44	= 0,42 neg	
Сoun	$x_{1pos}^O$	1+	0	0	0	0,12	0	0,12	0,2 + 1,16 = 1,36 pos
	$x_{2pos}^O$	5+	0	0	0	0,3	-0,22	+0,3 - 0,22 = 0,2	
Сom	$x_{1pos}^S$	7+	0	0	0	0,6	-0,44	0,6	
	$x_{2pos}^S$	2+	0	0	0	0	0,4	+0,4	
	$x_{3pos}^S$	6-	0	0	0	0	-0,6	-0,6	
								-0,44	= 1,16

В силу противоречивости целей факторы-угрозы  $X_{neg}^{y_1} = X_{neg}^T = \{1,5\}$  негативно сказываются на обеспечении роста объема производства,  $y_1$ , при одновременном благоприятном влиянии на рост экологической безопасности,  $y_2$  (в таблице 3 эта область выделена бирюзовым цветом).

Суммарное негативное влияние негативных факторов на вектор целей равно  $q_{14} + q_{54} + |q_{89}| - |q_{59}| = 0,42$ . Вычитание слагаемого  $|q_{59}|$  означает вычитание благоприятного влияния негативного фактора 5 на  $Y$ . С учетом негативного влияния  $y_1$  на  $y_2$  общий негативный эффект влияния на  $Y$  составляет **1,16** ( $0,42 + 0,74$ ).

При механизме противодействия рост целевого фактора  $y_1$  возможен при смене (с - на +) негативной направленности изменения факторов 1 ( $x_{1pos}^O$ ) и 5 ( $x_{2pos}^O$ ) (спрос на промышленную продукцию в стране и налоговые льготы соответственно), но в этом случае такое изменение будет способствовать снижению экологической безопасности,  $q_{59} = -0,22$  (в таблице 3 выделено желтым цветом). Однако факторы 1 и 5 относятся к внешней среде, и их изменение зависит от экономической ситуации в целом стране.

При механизме компенсации рост целевого фактора  $y_1$  возможен при росте фактора 7 ( $x_{1pos}^S$ ). Данный фактор характеризует создание условий для развития промышленности

благодаря проводимой политике городской администрации в этом направлении. Но при этом в силу противоречивости целей это оказывает негативное влияние на экологическую безопасность,  $q_{79} = -0,44$  (в таблице 3 выделено желтым цветом). К другим компенсационным факторам относятся 2 ( $x_{2pos}^S$ ) и 6 ( $x_{3pos}^S$ ) (уровень загрязнения окружающей среды и воспроизводство ресурсов для обеспечения жизнедеятельности города соответственно), если их рассматривать как факторы управляемого воздействия. Обеспечение роста фактора 2 и снижения фактора 6 способствует компенсации последствий от наращивания производства в городе. Обеспечение такой динамики этих факторов возможно при снижении нарушений природоохранного законодательства, внедрение ресурсосберегающих технологий и т.п.

Таким образом, достижение противоречивых целей  $Y$  возможно при действии обоих механизмов: противодействия и компенсации; общий интегральный эффект их благоприятного влияния (**1,36 pos**) превышает общий интегральный эффект негативного влияния (**1,16 neg**). Данный вариант возможен при благоприятном изменении факторов внешней среды и усилении политики городской администрации в области создания благоприятных условий для развития промышленности и обеспечения экологической безопасности города, а также деятельности городских служб обеспечения жизнедеятельности города, руководства промышленных предприятий.

При действии только механизма компенсации общий эффект от благоприятного влияния (**1,16 pos**) равен общему эффекту от негативного влияния (**1,16 neg**).

И в том и другом случае достижение целей существенно зависит от возможностей города (его администрации, обеспечивающих жизнедеятельность городских служб, руководства промышленных предприятий), но во втором случае требуется больше ресурсных затрат.



## 6. Заключение

1. *Практическая значимость результатов.* Возможности стратегического мониторинга не ограничиваются только выявлением и диагностированием проблем, вызванных текущими изменениями в ситуации. Допускается возможность анализа потенциальных проблем в достижении стратегических целей при различных предполагаемых вариантах изменений во внешней среде. В ходе решения рассмотренных задач можно искать не только способы разрешения проблемных ситуаций с учетом известных исходных данных, но выдвигать различные гипотезы о динамике факторов ситуации, по которым отсутствуют наблюдаемые данные. Исходя из этих предположений, расширяется диапазон анализа вариантов возникновения проблемной ситуации. Полученные решения целесообразно использовать при выявлении значимых изменений в ситуации при текущем мониторинге. Это открывает дополнительные возможности своевременного пересмотра и коррекции стратегии развития системы.

2. *Дальнейшие исследования* целесообразно вести по следующим направлениям:

– разработка средств поддержки с использованием когнитивных карт на этапе коррекции стратегии развития системы (рис. 1);

– расширение предлагаемой схемы стратегического мониторинга на другие типы когнитивных моделей ситуаций с ослаблением требований на асимптотическую устойчивость;

– расширение состава задач управления развитием системы в контексте взаимодействия различных активных субъектов, влияющих на изменение ситуации;

– разработка обучающих техник и программных средств поддержки решения задач с использованием когнитивных карт с целью снижения интеллектуальной нагрузки на человека при решении такого рода задач.

Последнее обусловлено тем, что диагностирование и решение проблем в слабоструктурированных ситуациях предполагает существенное участие человека, при этом

когнитивная карта ситуации может представляться множеством факторов и связей, что делает процесс ее анализа трудоемким.

### Литература

1. АВДЕЕВА З.К., КОВРИГА С.В. *Диагностирование проблемных ситуаций в развитии сложных систем на основе когнитивных карт* // Управление большими системами. – 2013. – №42. – С. 5–28.
2. ГОРЕЛОВА Г.В., ЗАХАРОВА Е.Н., РАДЧЕНКО С.А. *Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем. Когнитивный подход*. – Ростов н/Д.: Ростовский университет. – 2006. – 332 с.
3. КОВРИГА С.В. *Методические и аналитические основы когнитивного подхода к SWOT-analysis* // Проблемы управления. – 2005. – №5. – С. 58–63.
4. ЛУЧКО О.Н., МАРЕНКО В.А. *Когнитивное моделирование как инструмент поддержки принятия решений: монография*. – Новосибирск: Изд. СО РАН. – 2014. – 119 с.
5. МАКАРЕНКО Д.И., ХРУСТАЛЕВ Е.Ю. *Концептуальное моделирование военной безопасности государства*. – М.: Наука. – 2008. – 304 с.
6. РАЙКОВ А.Н. *Тенденции развития когнитивного моделирования* // Информационное общество. – 2004. – №6. – С. 36–40.
7. САДОВНИЧИЙ В.А., АКАЕВ А.А., КОРОТАЕВ А.В. и др. *Моделирование и прогнозирование мировой динамики*. – М.: ИСПИ РАН. – 2012. – 359 с.
8. AVRAMOVA N., AVDEEVA Z., FEDOTOV A. *An approach to systematization of types of formal cognitive maps* // Proc. 18th IFAC World Congress. Milano, Italy. – 2011. – 18(1). – P. 14246–14252.
9. AVDEEVA Z., KOVRIGA S., MAKARENKO D. *Cognitive approach to problem solving of social and economic object development* / Proc. 4th International conference on informatics in control, automation and robotics (ICINCO). Angers, France. – 2007. – P. 432–435.

10. GHAZINOORY S., ABDI M., AZADEGAN-MEHR M. *SWOT Methodology: A state-of-the-art review for the past. A framework for the future* // J. of business economics and management. – 2011. – №12(1). – P. 24–48.
11. PAPAGEORGIU E. *Review study on fuzzy cognitive maps and their applications during the last decade* / In M. Glykas (ed.), Business Process Management, SCI444. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg. – 2013. – P. 281–298.

### **COGNITIVE-MAP-BASED APPROACH TO STATEMENT OF SYSTEM DEVELOPMENT CONTROL PROBLEM BASED FOR THE STRATEGY MONITORING**

**Zinaida Avdeeva**, National Research University «The Higher School of Economics»; Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc. (avdeeva@ipu.ru).

**Svetlana Kovriga**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow.

*Abstract: We propose a novel approach to control problems of system development in changing external environment. To find a solution of such problems a modification of SWOT-analysis on cognitive-map model is proposed. The proposed approach is illustrated by two real-life examples: 1) an enterprise with ecologically dangerous production and 2) socio-economical city development.*

**Keywords:** cognitive map, strategy monitoring, problems diagnosing technique, statements of a control problem

*Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии М.Ф. Караваем.*

*Поступила в редакцию 13.10.2015.  
Опубликована 31.01.2016.*